

Список использованных источников

1. Яковлев Ю. Н. Физическое и математическое моделирование сталеплавильных процессов // Вопросы теории и практики сталеплавильного производства // Научные труды ММИ. – М.: Metallurgy, 1991. – С. 32–44.
2. Глинков М. А. Тепловая работа сталеплавильных ванн. М.: Metallurgy, 1970. – 408 с.
3. Меджибожский. М. Я. Основы термодинамики и кинетики сталеплавильных процессов. Киев–Донецк: «Вища школа», 1986. – 279 с.
4. Шур А. Б., Бялый Л. А. Исследование распределения материалов перед задувкой мощной доменной печи // Сталь. 1963. № 6. С. 486–490.
5. Ковшов В. П., Петренко В. А., Верещак В. И. Моделирование доменного процесса. – Днепропетровск: Институт технологии. 1997. – 109 с.
6. Чернятевич А. Г., Зарвин Е. Я. К вопросу горячего моделирования кислородно-конвертерного процесса // Известия вузов. Черная металлургия. 1978. № 4. С. 40–46.
7. Яковлев Ю. Н. О математическом моделировании сталеплавильных процессов // Изв. АН СССР. Металлы. 1991. № 6. С. 197–201.
8. Брайнес Я. М. Подобие и моделирование в химической и нефтехимической технологии. М.: Гостопиздат, 1961. – 220 с.
9. Яковлев Ю. Н., Рывданская Т. В., Камкина Л. В., Сигарев Е. Н. Анализ различных динамических моделей процесса обезуглероживания и их использование при исследовании сталеплавильных процессов // Известия вузов. Черная металлургия. 1992. № 6. С. 65–68.
10. Яковлев Ю. Н., Камкина Л. В. Эффективность различных видов массообмена между твердыми и жидкими фазами в шахтных плавильных печах // Труды международной конференции «Экология и теплотехника – 1996» (2–5 июля). Днепропетровск: ГМетАУ, 1996. С. 308–309.

УДК 669.042

Б. А. Капсалямов, А. С. Колесников

Жезказганский университет имени О.А. Байконурова,

г. Жезказган, Республика Казахстан,

РГП на ПХВ «Южно-Казахстанский государственный университет

имени М. Ауэзова», г. Шымкент, Республика Казахстан

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МОЩНОСТИ В ВАННЕ ПЕЧИ

Аннотация

В настоящей работе приведены результаты исследования распределения мощности в ванне модели прямоугольной руднотермической печи выплавки ферросилиция из техногенного отхода металлургической промышленности – клинкера вельцевания цинковых руд. Иссле-

дования проводили методом планирования эксперимента с использованием ротatableного плана второго порядка. В процессе исследования были изучены закономерности выделения мощности в различных зонах ванны руднотермической печи, которая в свою очередь зависит от геометрических параметров печи, электрического режима и свойств компонентов шихты. По результатам исследований распределения мощности в ванне модели прямоугольной печи были получены адекватные уравнения регрессии в кодированном и натуральном виде. С помощью полученных уравнений было установлено, что выделение мощности в ванне рудно-термической печи происходит не равномерно. По мере отдаления от электрода и подины к периферии печи выделяемая мощность в ванне печи снижалась, а максимальная мощность не превышала 77 %, при этом наименьшая потеря мощности в ванне руднотермической печи происходит при более низкой посадке электродов.

Ключевые слова: распределение мощности, руднотермическая печь, сила тока, напряжение, проводимость расплава, раствор хлорида аммония.

Abstract

In the present work the results of research of distribution of power in the bath water model rectangular ore-thermal furnace smelting ferrosilicon from technogenic waste of metallurgical clinker valcavasias zinc ores. Research carried out by the planning of the experiment using rotatable plan of the second order. During the research of regularities of the allocation of power in the various areas of baths ore-thermal furnace, which in turn depends on the geometrical parameters of the furnace, electric mode and properties of the mixture components. By results of researches of distribution of power in the tub model rectangular furnace were received adequate regression equation in coded and kind. Using the obtained equations was found that the allocation of power in the tub ore-thermal furnace does not occur evenly. As one moves away from the electrode and the bottom to the periphery of the furnace allocated power in the bath furnace decreased and the maximum power does not exceed 77 %, while the smallest loss of power in the tub ore-thermal furnace going for a low rise electrodes.

Keywords: power distribution, ore-thermal furnace, current strength, voltage, conductivity melt, solution ammonium chloride.

Электротермическая переработка сырья связана с прохождением тока через расплавляемый материал и нагревом его до определенной температуры. В связи с этим для рационального ведения электротермического процесса необходимо изучение закономерностей выделения мощности в различных зонах ванны руднотермической печи, которая в свою очередь зависит от геометрических параметров печи, электрического режима и свойств компонентов шихты [1–3]. В работах [4–6] показано, что новым направлением в электротермии цветных металлов и ферросплавов может стать технология переработки некондиционных, необогащенных руд и техногенных отходов с отгонкой цветных металлов и выплавкой ферросплавов.

В настоящей работе на модельной установке изучено распределение мощности в ванне, имитирующей прямоугольную рудовосстановительную печь. Посредством изучения состава шлака, образуемого при выплавке ферросилиция, из клинкеров вельцевания нами был подобран электролит, удельная электропроводность которого соответствовала удельной электропроводности расплава при получении ферросилиция из клинкера вельцевания [7]. В статье приведены результаты моделирования распределения мощности в прямоугольной ванне,

применительно к электроплавке клинкеров вельцевания. Распределения тока и напряжения в ванне исследовали на водяной модели (рис. 1) при допущении, что проводимость (κ) расплава в ванне печи постоянна и составляет $0,337 \text{ ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$, чему соответствует 20 % раствор NH_4Cl при температуре 20°C . Ванна лабораторной установки, заполненная 20 % раствором хлорида аммония с опущенными тремя электродами была по размерам геометрически подобна промышленной печи, выплавляющей ферросилиций. Значения тока и напряжения в ванне замерялись с помощью подвижного щупа, соединенного через чувствительный амперовольтмер.

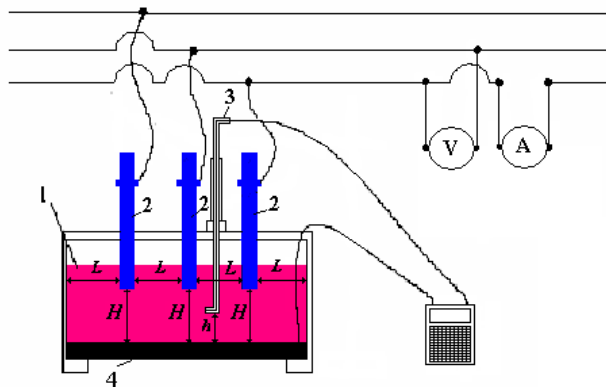


Рис. 1. Схема лабораторной установки: 1 – ванна с исследуемым раствором; 2 – электроды; 3 – передвижной щуп; 4 – металлическая пластинка

Схема, показанная на рис. 1, позволяла измерять напряжение и силу тока в любой точке расплава. Для координации щупа в пространстве применялась система специальной конструкции, фиксируемой на крышке ванны. Модель питалась трехфазным током от трансформатора, позволяющего регулировать напряжение в пределах от 0 до 200 В. При различном положении электродов в электролите, имитирующем расплав, посредством щупа определялись сила тока и напряжение. Мощность определялась по формуле

$$W = I \cdot U \cdot \cos \varphi; \quad (1)$$

где I – сила тока; U – напряжение; $\cos \varphi$ – коэффициент мощности.

Учитывая, что максимальная мощность выделяется на электроде относительное значение мощности в исследуемой точке ванны (W_i) определяли из выражения:

$$W_i = \frac{I_i \cdot U_i \cdot \cos \varphi}{I_0 \cdot U_0 \cdot \cos \varphi} \cdot 100 = \frac{I_i \cdot U_i}{I_0 \cdot U_0} \cdot 100; \quad (2)$$

где I_0 , I_i – сила тока на электроде и в исследуемой точке объема ванны; U_0 , U_i – напряжение на электроде и в исследуемой точке объема ванны.

Все линейные размеры в работе приводились к диаметру электрода и определялись по формулам:

$$L_i = n \cdot d_{\text{эл.}}; \quad H_i = n \cdot d_{\text{эл.}}; \quad h_i = n \cdot d_{\text{эл.}},$$

где L – расстояние от электрода до точки замера (передвижного щупа) по горизонтали; H_i – местоположение электрода (определялось как расстояние от торца электрода до подины модельной печи); h_i – местоположение точки замера, определялось как расстояние от точки замера (передвижного щупа) до подины модельной печи; d – диаметр электрода; n – кратность диаметра электрода.

Исследования проводили методом планирования эксперимента с использованием ротатбельного плана второго порядка [8]. Параметрами оптимизации служила степень выделения мощности в ванне печи W , а в качестве переменных факторов – расстояние от электрода до точки замера (L_i) по горизонтали, расстояние от торца электрода до низа печи (H_i) и от точки замера до низа печи (h_i). В табл. 1 приведены уровни и интервалы варьирования переменных.

Таблица 1

Уровни и интервалы варьирования переменных факторов.

Уровни	X_1	X_2	X_3	L_i	H_i	h_i
Основной	0	0	0	1,38	1,405	1,165
Интервал варьирования	Δ	Δ	Δ	0,762	0,737	0,693
Верхний	+1	+1	+1	2,142	2,142	1,858
Нижний	-1	-1	-1	0,618	0,668	0,472
«Звездное» плечо	+1,68	+1,68	+1,68	2,662	2,645	2,331
«Звездное» плечо	-1,68	-1,68	-1,68	0,098	0,165	-0,001

Количество опытов определялось из выражения: $N = 2^k + 2k + 6$, где k – количество факторов. В нашем случае $N = 2^3 + 2 \cdot 3 + 6 = 20$ опытов. В табл. 2 приведена матрица планирования и результаты экспериментов.

Таблица 2

Матрица планирования и результаты

№ опыта	L	h	r	$W_{\text{эсп.}}, \%$	$W_{\text{расч.}}, \%$	Отклонение, %
1	2,142	2,142	1,86	27,00	25,79	4,48
2	0,618	2,142	1,86	43,00	43,54	-1,25
3	2,142	0,668	1,86	38,00	39,50	-3,96
4	0,618	0,668	1,86	61,00	61,25	-0,41
5	2,142	2,142	0,47	30,00	30,43	-1,42
6	0,618	2,142	0,47	54,00	53,17	1,53
7	2,142	0,668	0,47	46,00	46,14	-0,30
8	0,618	0,668	0,47	71,00	72,89	-2,66
9	2,6617	1,405	1,17	28,00	27,81	0,66
10	0,0983	1,405	1,17	66,00	65,23	1,17
11	1,38	2,645	1,17	31,00	31,97	-3,12
12	1,38	0,165	1,17	62,00	60,08	3,10
13	1,38	1,405	2,33	40,00	39,68	0,79
14	1,38	1,405	0	54,00	53,36	1,19
15	1,38	1,405	1,17	42,00	42,53	-1,26
16	1,38	1,405	1,17	43,00	42,53	1,10
17	1,38	1,405	1,17	42,00	42,53	-1,26
18	1,38	1,405	1,17	43,00	42,53	1,10
19	1,38	1,405	1,17	42,00	42,53	-1,26
20	1,38	1,405	1,17	43,00	42,53	1,10

После проведения экспериментов были получены следующие адекватные уравнения (отклонение экспериментальных и расчетных значений $\eta \leq 5,0\%$) регрессии в кодированном и натуральном виде:

$$W = 100 - 26,57 \cdot x_1 - 21,33 \cdot x_2 - 17,37 \cdot x_3 + 2,43 \cdot 10^{-6} \cdot x_1^2 + 2,27 \cdot x_2^2 + 2,94 \cdot x_3^2 + 1,78 \cdot x_1 \cdot x_2 + 2,36 x_1 \cdot x_3 + 0,98 \cdot x_2 \cdot x_3; \quad (3)$$

$$W = 42,53 - 11,13 \cdot L - 8,36 \cdot H - 4,07 \cdot h + 1,41 \cdot 10^{-6} \cdot L^2 + 1,24 \cdot H^2 + 1,41 \cdot h^2 + 1,0 \cdot L \cdot H + 1,25 \cdot L \cdot h + 0,5 \cdot H \cdot h \quad (4)$$

На рис. 3 приведена информация о влиянии выделяемой мощности (W) по глубине ванны при различном заглублении крайнего электрода.

Как видно из рис. 3 по мере отдаления от электрода степень выделения мощности в ванне печи снижается.

Об одновременном влиянии расстояния от электрода до точки замера (L), местоположения электрода (H) и точки замера (h) по глубине ванны на степень выделения мощности (W) можно судить по рис. 3, а, на котором представлена информация о влиянии L , H и при постоянном $h = 0,001$ т. е. при замере в нижнем горизонте ванны печи на форму поверхности отклика – степень выделения мощности W в ванне печи. Форма поверхности имеет падающий характер. По мере отдаления от электрода и подины печи к периферии мощность, выделяемая в ванне печи снижается. Горизонтальные сечения поверхности показаны на рис. 3, б. Как видно из рис. 3, 50 % выделения мощности наблюдается по линии А–Б–В, $W > 50\%$ выделяется в области А–Б–В–Г–Д (заштрихованная область), т. е. при $L \leq 2,5$ и $H \leq 2,3$.

На рис. 4 представлена информация о влиянии расстояния от электрода до точки замера (L), местоположения электрода (H) и точки замера (h) по глубине ванны на степень выделения мощности (W), на котором представлена информация о влиянии L , H и при постоянном $h = 2,33$ т. е. при замере в верхнем горизонте ванны печи на форму поверхности отклика – степень выделения мощности W в ванне печи.

Форма поверхности имеет аналогичный характер, здесь так же по мере отдаления от электрода и подины печи к периферии мощность, выделяемая в ванне печи, снижается.

Из рис. 4 видно, что 50 % выделения мощности наблюдается по линии А–Б–В, $W > 50\%$ выделяется в области А–Б–В–Г–Д (заштрихованная область), т. е. при $L \leq 1,8$ и $H \leq 2,2$.

Как видно в данном случае, максимальная мощность, выделяемая в ванне печи не превышает 77 %.

Таким образом, на основе проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- выделение мощности в ванне рудно-термической печи происходит не равномерно, по мере отдаления от электрода и подины к периферии печи выделяемая мощность в ванне печи снижается в соответствии со следующей закономерностью:

$$W = 42,53 - 11,13 \cdot L - 8,36 \cdot H - 4,07 \cdot h + 1,41 \cdot 10^{-6} \cdot L^2 + 1,24 \cdot H^2 + 1,41 h^2 + 1,0 \cdot L \cdot H + 1,25 \cdot L \cdot h + 0,5 \cdot H \cdot h;$$

- 50 %-ное выделение мощности в ванне печи наблюдается при $L \leq 1,8$ и $H \leq 2,2$;

- наименьшая потеря мощности в ванне руднотермической печи происходит при более низкой посадке электродов.

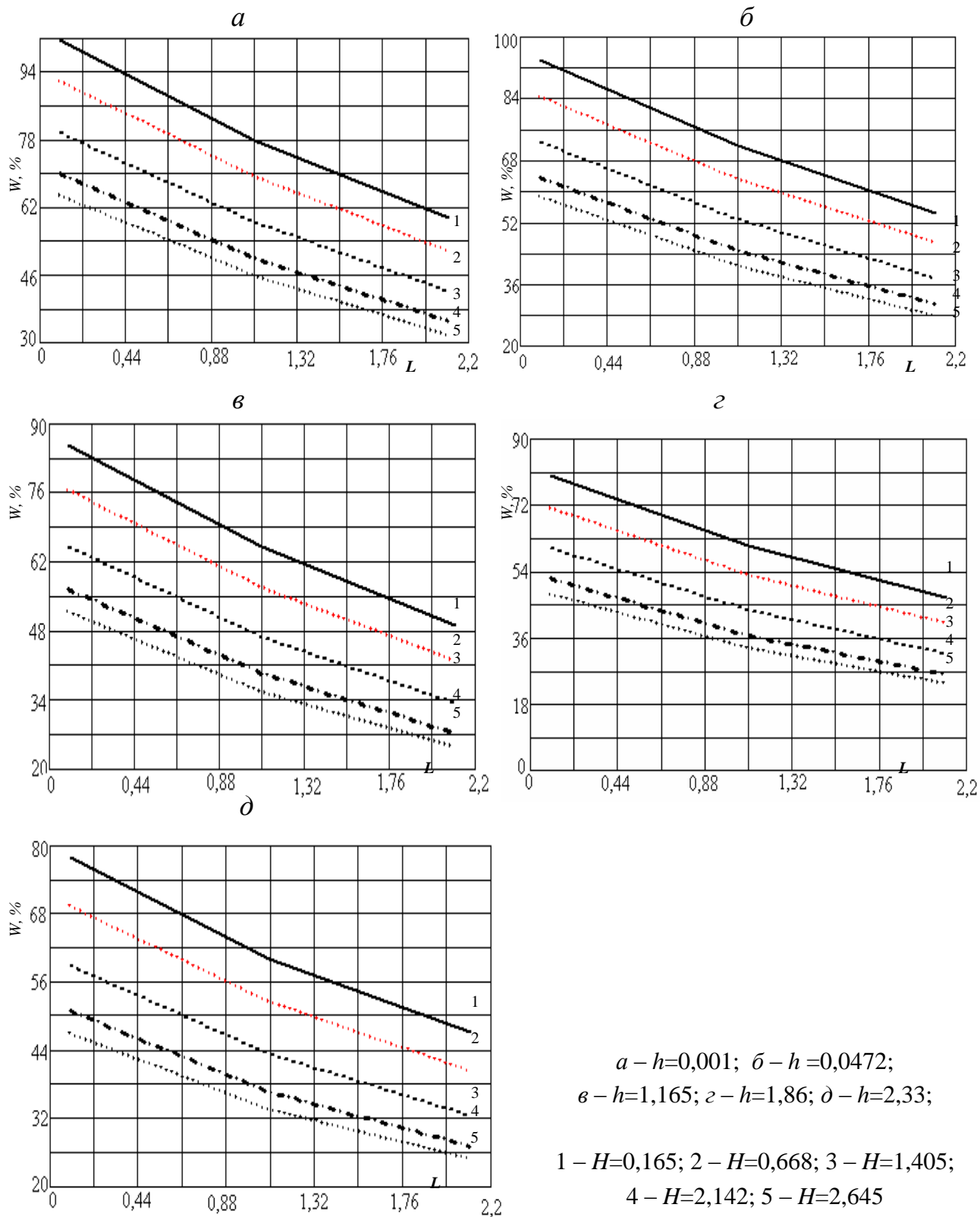
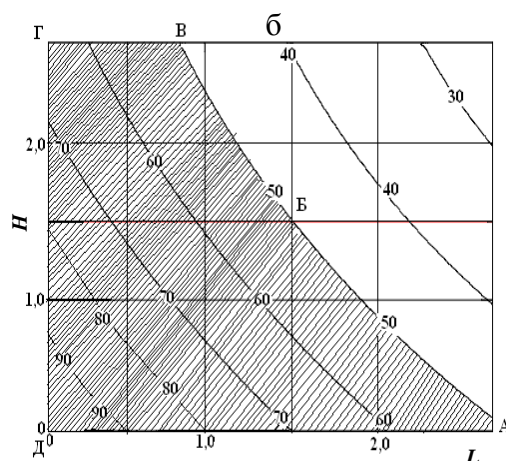
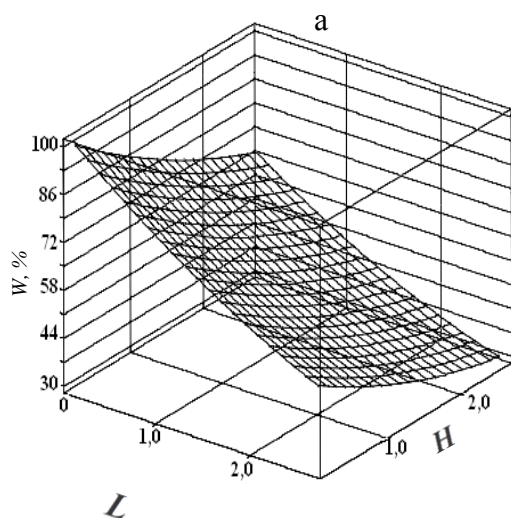
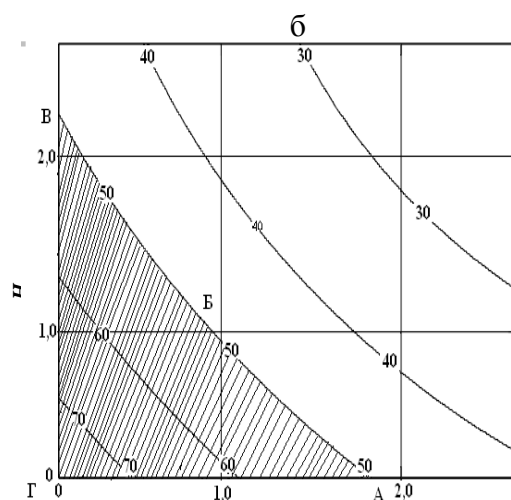
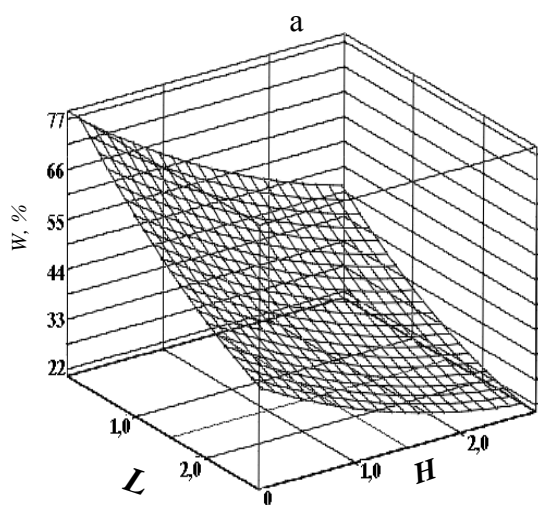


Рис. 2. Влияние L и H на W_i крайнего электрода



Цифры на линиях – степень выделения мощности в ванне печи $W\%$
 Рис. 3. Влияние расстояния от электрода (L), местоположения электрода (H)
 на форму поверхности отклика – степень выделения мощности W – a
 и на расположения его изолиний – $б$ при постоянном значении $h = 0,0001$



Цифры на линиях – степень выделения мощности в ванне печи $W\%$
 Рис. 4. Влияние расстояния от электрода (L), местоположения электрода (H)
 на форму поверхности отклика – степень выделения мощности W – a
 и на расположения его изолиний – $б$ при постоянном значении $h = 2,33$

Список использованных источников

1. Гасик М. И., Лякишев Н. П., Емлин Б. И. Теория и технология производства ферросплавов. М.: Металлургия, 1988. 764 с.
2. Струнский Б. М. Руднотермические плавильные печи. М.: Металлургия, 1972. 368 с.
3. Ершов В. А., Данцис Я. Б., Жилов Г. М. Теоретические основы химической электротермии. Л.: Химия, 1978. 184 с.

4. Предварительный патент № 16191 РК. Шихта для получения ферросилиция / Бишимбаев В. К., Капсаямов Б. А., Колесников А. С., Картбаев С. К. Оpubл. 15.09.05, Бюл. № 9.

5. Капсаямов Б. А., Колесников А. С. Электротермическая переработка отходов полиметаллических руд // Республиканский научный журнал. № 35. Наука и образование Южного Казахстана. Шымкент, 2003. С. 126–128.

6. Капсаямов Б. А., Бишимбаев В. К., Колесников А. С., Картбаев С. К. Комплексная электротермическая переработка клинкеров вельцевания оксидных ачисайских цинксодежащих руд: монография. – Шымкент, 2009. –153 с.

7. Колесников А. С. Разработка комплексной электротермической технологии извлечения цветных металлов и железа из клинкера вельцевания оксидных руд: автореф. канд. техн. наук. Алматы: ЦНЗМО, 2008. – 23 с.

8. Цымбал В. П. Математическое моделирование металлургических процессов. – М.: Металлургия, 1986. – 240 с.

УДК 669.051

В. И. Клейн, Б. А. Боковиков, С. И. Поколенко

ООО «Научно–производственное внедренческое предприятие ТОРЭКС»,
г. Екатеринбург, Россия

О ВЛИЯНИИ УДЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ТОПЛИВА НА ПРОЦЕСС ВОССТАНОВЛЕНИЯ РУДОУГОЛЬНЫХ ОКАТЫШЕЙ

Аннотация

При восстановлении рудоугольных окатышей большое значение имеет крупность частиц угля. Этот вопрос проанализирован с точки зрения влияния удельной поверхности топлива и кинетики процесса газификации углерода на интенсивность восстановительного процесса.

Ключевые слова: рудоугольные окатыши, крупность частиц, удельная поверхность, кинетика газификации угля.

Abstract

Coarseness of the coal particles is immensely important during reduction of iron ore-coal pellets. This issue had been analyzed considering an impact of fuel specific surface and kinetics of the carbon gasification process on intensity of reduction process.

Keywords: iron ore-coal pellets, coarseness of particles, specific surface, kinetics of coal gasification.

При термообработке рудоугольных окатышей реакции восстановления оксидов железа и газификации твердого топлива относятся к гетерогенным процессам, связанным с реакционной поверхностью. А поскольку эти реакции связаны между собой двухстадийной схемой взаимодействия, постольку соотношение реакционных поверхностей оксидов железа и твер-